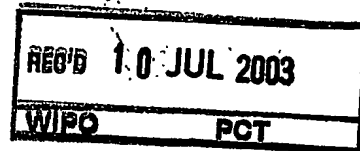


РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(РОСПАТЕНТ)

 **ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995  
Телефон 240 60 15. Телекс 114818 ПДЧ. Факс 243 33 37

PCT/RU03/00084



Наш № 20/12-271

«4» июня 2003 г.

### СПРАВКА

Федеральный институт промышленной собственности (далее – Институт) настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы, реферата и чертежей (если имеются) заявки №2002107468 на выдачу патента на изобретение, поданной в Институт в марте месяце 26 дня 2002 года (26.03.2002).

**Название изобретения:**

Плазменный источник электронов

**Заявитель:**

МИНАКОВ Валерий Иванович

**Действительные авторы:**

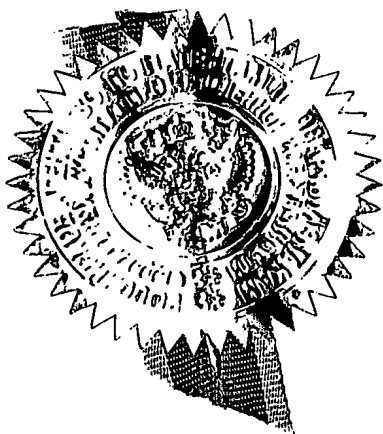
МИНАКОВ Валерий Иванович

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Заведующий отделом 20



А.Л.Журавлев



Н01J 17/02, 19/02, 21/00, 25/00,  
29/04, 49/12, 61/00;

### Плазменный источник электронов

Изобретение относится к области газоразрядных высоковакуумных ( $P < 0,1$  Па) устройств и предназначено для работы в качестве катода мощных генераторных ламп (например, катод генератора СВЧ-колебаний), а также в составе источников ионных пучков, в частности, в составе таких космических электроракетных двигателей, как плазменно-ионный двигатель (ПИД) (катод – нейтрализатор ПИД).

Известен катодный блок, содержащий заключённые в герметичный корпус дуговой диафрагмированный полый катод с устройством подачи газа и промежуточный анод [1].

Дуговой разряд между таким катодом и каким-либо внешним анодом (при работе катода в составе ПИД внешним анодом является плазма ионного пучка) зажигается при прокачке через полость катода постоянного расхода рабочего тела (инертные газы, пары ртути, цезия). Высокий ресурс и низкий уровень энергозатрат предопределили использование данного устройства в качестве традиционного и практически единственного типа источника электронов для Холловского двигателя (СПД) и ПИД.

Вместе с тем, применение подобного катодного блока в составе Холловского двигателя (СПД) существенно ограничивает возможности повышения полного тягового КПД двигателя. Внутренняя противоречивость процессов генерации заряженных частиц в прикатодной области разряда приводит к неблагоприятному распределению потенциала в пространстве анод – катод, непроизводительному повышению уровня энергозатрат и к неоправданно большому расходу рабочего тела через полость катода. Указан-

ные недостатки, обусловленные низкой эффективностью ионизации нейтральных атомов в столбе разряда при малых расходах и низкой температуре электронов, снижают конкурентноспособность Холловского двигателя (СПД), наиболее ярко проявляясь в перспективной области малых тяг ( $F < 30 \text{ mN}$ ).

Аналогичные недостатки, хоть и в меньшей мере, присущи и катоду-нейтрализатору ПИД.

Низкий уровень энергозатрат в сочетании с возможностью получения стационарного электронного пучка со значительными токами ( $I > 1 \text{ A}$ ) и высокими плотностями тока привлекают внимание к перспективам использования дугового диафрагмированного полого катода в мощных генераторах электромагнитных колебаний различных типов.

Известен плазменный источник электронов (ПИЭЛ) на основе обращенного дуоплазматрона с дуговым полым катодом [2].

Такой источник содержит заключенные в герметичный корпус дуговой диафрагмированный полый катод с устройством подачи газа и установленные между выходными отверстиями катода и корпуса соосно с ними промежуточный и главный кольцевые аноды, а также внутренний и внешний кольцевые полюсные наконечники с расположенным между ними источником магнитодвижущей силы. Конструктивно внешний полюсный наконечник совмещен с главным анодом, а внутренний полюсный наконечник совмещен с промежуточным анодом. Таким образом, полюсные наконечники находятся под потенциалами совмещенных с ними анодов.

Разряд в данном источнике контрагирован отверстием в промежуточном аноде и сильным неоднородным магнитным полем в пространстве между анодами, где и достигается максимальная степень ионизации газа. Извлечение электронов из образовавшейся плазмы производится через отверстие в главном аноде с помощью системы внешних электродов. Подобный ПИЭЛ позволяет получить стационарный электронный пучок со значительными

токами ( $I > 1 \text{ A}$ ) и высокими плотностями тока. Минимальный расход газа в рассматриваемом ПИЭЛ меньше расхода в традиционном катодном блоке, однако высокий уровень удельных энергозатрат (порядка  $1 \text{ кВт/А}$ ) и низкая эффективность извлечения электронного пучка исключают возможность его применения в качестве катода-компенсатора Холловского двигателя (СПД) и катода-нейтрализатора ПИД, а также ограничивают его применимость в генераторных лампах.

Задачей, на которую направлено изобретение, является повышение эффективности извлечения электронного пучка, а также газовой и энергетической эффективности.

Поставленная задача решается за счет того, что в плазменном источнике электронов, содержащем выполненные в виде тел вращения с центральными отверстиями внутренний и внешний полюсные наконечники с расположенным между ними источником магнитодвижущей силы, а также размещенные в герметичном корпусе дуговой диафрагмированный полый катод с устройством подачи газа и выполненные в виде тел вращения с центральными отверстиями промежуточный и главный аноды, между выходными отверстиями катода и корпуса соосно с ними последовательно установлены промежуточный анод, внутренний полюсный наконечник, главный анод и внешний полюсный наконечник. Главный анод выполнен из магнитослабого материала и расположен так, что через отверстие в нём протекает не менее 30% создаваемого в пространстве между полюсными наконечниками магнитного потока. Внутренний и внешний полюсные наконечники электрически соединены с катодом и имеют потенциал, практически равный потенциалу катода. В общем случае плазменный источник снабжен кольцевым коллектором, соединенным с дополнительным устройством подачи газа. В кольцевом коллекторе выполнены отверстия, обеспечивающие подачу газа в пространство между полюсными наконечниками за пределы зоны, находящейся между указанными полюсными наконечниками и ограниченной

торцевыми поверхностями полюсных наконечников и внутренней поверхностью анода.

Изобретение поясняется чертежами, где на фигурах 1,2 представлены варианты выполнения ПИЭЛ.

Предлагаемый ПИЭЛ, выполняющий функции катода газоразрядного устройства, содержит дуговой диафрагмированный полый катод (1) с устройством подачи газа (2), размещённый в герметичном корпусе (3) (фиг. 1) (26)(27) (фиг. 2) так, что оси выходных отверстий катода (4) и корпуса (5) совпадают. Между выходными отверстиями дугового полого катода (4) и корпуса (5) соосно с ними последовательно установлены кольцевые промежуточный анод (6), внутренний полюсный наконечник (7), кольцевой коллектор (8) с дополнительным устройством подачи газа (28), главный анод (9)(23) и внешний полюсный наконечник (10). (В специальных вариантах конструкции предлагаемого ПИЭЛ кольцевой коллектор с дополнительным устройством подачи газа могут отсутствовать.) Внутренний (7) и внешний (10) полюсные наконечники электрически соединены (накоротко или путём замыкания тока через плазму газового разряда) с катодом (1), находясь практически под одним потенциалом с последним. Главный анод (9) (фиг. 1) может быть выполнен в виде полого цилиндра, внутренний диаметр  $D_4$  (12) и длина  $L_2$  которого превышают минимальный диаметр  $D_3$  отверстия (14) во внешнем полюсном наконечнике (10) в 1 – 1,6 раза. Другой вариант выполнения главного анода (23) (фиг. 2) – в виде полого усечённого конуса, меньшее основание которого обращено к внутреннему полюсному наконечнику (7). В этом случае внутренний диаметр большего основания (24)  $D_6$  и высота усеченного конуса  $H$  относятся к минимальному диаметру  $D_3$  отверстия (14) во внешнем полюсном наконечнике (10) как  $D_6 : D_3 = 1,3 \pm 0,3$ ,  $H : D_3 = 1,3 \pm 0,3$ , причём внутренний диаметр меньшего основания (25)  $D_7$  относится к минимальному диаметру отверстия (16) во внутреннем полюсном наконечнике (7)  $D_2$  как  $D_7 : D_2 = 1,5 \pm 0,5$ .

Во всех вариантах конструктивного исполнения главного анода магнитный поток, протекающий через полость главного анода без соприкосновения с его внутренней поверхностью, составляет не менее 30% от создаваемого в пространстве между полюсными наконечниками магнитного потока. Выполнение главного анода из магнитослабого материала позволяет практически сохранять необходимую конфигурацию распределения вектора магнитной индукции в пространстве между полюсными наконечниками вне зависимости от геометрических параметров главного анода.

Минимальные диаметры отверстий в катоде (1)  $d$  (4), промежуточном аноде (6)  $D_1$  (15), внутреннем полюсном наконечнике (7)  $D_2$  (16) и внешнем полюсном наконечнике (10)  $D_3$  (14) относятся как  $d : D_1 : D_2 : D_3 = 1 : 10k : 50k : 100k$ , где  $k = 1 \pm 0,5$ ; отношение величины зазора  $L_1$  между полюсными наконечниками (7)(10) к минимальному диаметру  $D_3$  отверстия (14) во внешнем полюсном наконечнике (10) равно  $L_1 : D_3 = 1 \pm 0,4$ . Зазоры между катодом (1) и промежуточным анодом (6), а также между промежуточным анодом (6) и внутренним полюсным наконечником (7) соизмеримы с минимальным диаметром отверстия  $D_1$  (15) в промежуточном аноде (6).

Выходные отверстия (19) кольцевого коллектора (8) расположены внутри герметичного корпуса (3)(27) (фиг. 1,2), между внутренним (7) и внешним (10) полюсными наконечниками вне зоны интенсивной ионизации, находящейся между полюсными наконечниками (7)(10) и ограниченной обращёнными к указанной зоне поверхностями полюсных наконечников (7)(10) и главного анода (9)(23).

Непосредственно за срезом внешнего полюсного наконечника (10), примыкая к нему, может быть установлен экспандер (17), минимальный внутренний диаметр  $D_5$  (18) которого превышает минимальный диаметр  $D_3$  отверстия (14) во внешнем полюсном наконечнике (10) в 1 – 1,6 раза.

Источник магнитодвижущей силы может быть установлен за пределами герметичного корпуса (фиг. 2). В данном варианте конструкции внеш-

ние края полюсных наконечников (7)(10) выходят за пределы состоящего из двух частей (26)(27) герметичного корпуса, причём по крайней мере находящаяся между полюсными наконечниками (7)(10) часть (27) корпуса изготовлена из магнитослабого материала и, кроме того, выполняется условие герметичности стыков частей (26)(27) корпуса с полюсными наконечниками (7)(10). В случае выполнения источника магнитодвижущей силы в виде полого цилиндра из магнитотвёрдого материала, источник магнитодвижущей силы приобретает свойства герметизирующего элемента и может стать частью герметичного корпуса.

Аноды (6)(9)(23) электрически соединены с положительными полюсами соответствующих источников электропитания, отрицательные полюса которых соединены с катодом (1), причём промежуточный анод (6) подсоединяется к источнику питания через ограничительное (балластное) сопротивление или его эквивалент. Стартовый нагреватель (21) обеспечивает необходимую температуру дугового диафрагмированного полого катода (1) и вставки (20) из материала с низкой работой выхода в момент зажигания разряда. Изолятор (22) (фиг. 2) позволяет поддерживать герметичный корпус (26)(27) и накоротко замкнутые на него элементы конструкции (в том числе и полюсные наконечники (7)(10)) под практически равным потенциалу катода (1) плавающим потенциалом, при котором сумма всех выпадающих на данные элементы токов равна нулю.

Подача газа в ПИЭЛ может осуществляться по одному, общему трубопроводу. Требуемое распределение расходов между катодом и коллектором в этом варианте обеспечивается жиклёром, устанавливаемом на входе в коллектор. Функции жиклёра может осуществлять запрессованный в трубку стержень, на внешней цилиндрической поверхности которого выполнена винтовая канавка. Газодинамическая проводимость такого жиклёра определяется геометрическими параметрами винтовой канавки.

Контрагирование разряда в предложенном устройстве происходит непосредственно на срезе отверстия(4) в катоде(1) при задании определенного расхода газа через полость катода(1). Эмиттированные из внутрикатодной плазмы электроны ускоряются в прикатодном скачке потенциала, образуя в результате контрагирования, до энергии порядка 20-30эВ, создавая группу "первичных" высокоэнергетичных электронов, и попадают в скрещенные электрическое и магнитное поля во внутреннем пространстве главного анода (9)(23) между полюсными наконечниками(7)(10). Возникающая в этом пространстве плазма отражательного разряда (электроны движутся в основном вдоль силовых линий магнитного поля между находящимися под катодным потенциалом полюсными наконечниками, "отражаясь" от них с одновременным дрейфом в азимутальном направлении), эффективно ионизирует атомы газа. Потери на возбуждение относительно малы, так как высвобождающиеся при ионизации "вторичные" электроны обладают средней энергией порядка 10-15эВ. Таким образом, в полости главного анода (9)(23) создается зона интенсивной ионизации, ограниченная пересечением поверхности вращения, образованной касающимися внутренней поверхности главного анода (9)(23) силовыми линиями магнитного поля с полюсными наконечниками (7)(10). Требуемый уровень давления в этой зоне поддерживается путем подачи определенного соотношения расходов газа через полость катода(1) и через выходные отверстия(19) коллектора(8) дополнительной системы подачи. Уменьшение расхода газа через коллектор(8) вплоть до полного прекращения подачи газа в общем случае приводит к снижению эффективности извлечения электронов, уменьшению извлекаемого на внешний анод тока и ухудшению стабильности горения разряда. Тем не менее, в узкой области изменения соотношений геометрических параметров ПИЭЛ, величины магнитной индукции, расхода газа через полость катода и извлекаемого на внешний анод тока возможно существование разряда без подачи газа в коллектор и, следовательно, в специальном, частном случае



возможен отказ от использования коллектора дополнительной системы подачи.

На оптимальных режимах распределение потенциала электрического поля в полости главного анода(9)(23) таково, что большая часть образовавшихся на периферии зоны интенсивной ионизации ионов ускоряется до энергий порядка  $10 - 30 \text{ эВ}$  по направлению к оси разряда и к выходному отверстию(14) во внешнем полюсном наконечнике(10). За пределами ПИЭЛ они формируют пучок ионов - ионный "остов" столба разряда, создавая благоприятные условия для замыкания электронного тока на внешний анод, в то время как ток на главный анод(9)(23) ограничен магнитным полем. На этих режимах горения разряда ток на внешний анод в 3-5 раз больше тока на главный анод(9)(23) при практически равных потенциалах указанных анодов. Мощность разряда, выделяемая в цепи промежуточного анода(6), не превышает 20% мощности, выделяемой в цепи главного анода(9)(23).

Поток ионов, движущийся из зоны интенсивной ионизации в сторону дугового полого катода(1), поддерживает необходимые величины концентрации заряженных частиц, прикатодного скачка потенциала и температуры катода на стационарном режиме работы. Повышенная проводимость плазмы в пространстве за срезом ПИЭЛ и вплоть до зоны контакта с внешним анодом обусловлена более высокой температурой электронов по сравнению с температурой электронов плазмы, создаваемой в разряде с традиционным катодным блоком.

Предоставляемая предложенным техническим решением возможность управления величинами концентрации, энергии, интенсивностью и направлением потоков заряженных частиц обоих знаков предопределяет эффективность целенаправленного использования большинства из них и, в конечном итоге, новые, более предпочтительные параметры газоразрядного устройства в целом.

Подобная организация процессов позволяет получить рациональное немонотонное распределение потенциала плазмы, повысить её проводимость благодаря увеличению температуры электронов во всём пространстве между полым катодом и анодом и, тем самым, существенно улучшить характеристики газоразрядного устройства.

Использование предложенного плазменного источника электронов в качестве составной части (катода) генератора электромагнитных колебаний позволяет:

- 1) существенно снизить энергозатраты и, соответственно, тепловыделение в катодной области разряда;
- 2) получить высокие значения тока и плотности тока стационарного электронного пучка;
- 3) значительно увеличить эффективность извлечения электронного пучка и энергетическую эффективность;
- 4) повысить управляемость и устойчивость разряда при низком уровне давления ( $P < 0,01 \text{ Па}$ ) в пространстве распространения электронного пучка.

Применение предложенного плазменного источника электронов в качестве составной части (катода-нейтрализатора) ПИД позволяет:

- 1) повысить тяговый КПД двигателя в результате создания катодом-нейтрализатором дополнительной тяги при уменьшении потерь энергии и расхода газа;
- 2) повысить ресурс ускоряющего электрода ионно-оптической системы за счёт снижения разности потенциалов между ускоряющим электродом и плазмой пространства нейтрализации ионного пучка;
- 3) повысить управляемость и устойчивость разряда при низком уровне давления ( $P < 0,01 \text{ Па}$ ) в пространстве распространения ионно-электронных пучков, создаваемых электроракетным двигателем и плазменным источником электронов.

Использование предложенного плазменного источника электронов в качестве составной части (катода-компенсатора) Холловского двигателя (СПД) позволяет:

1) увеличить тягу и тяговый КПД двигателя за счёт сокращения непроизводительных потерь энергии в пространстве катод плазменного источника электронов - анод Холловского двигателя (СПД);

2) повысить тягу и тяговый КПД двигателя в результате создания плазменным источником электронов дополнительной тяги при уменьшении расхода газа;

3) эффективно управлять величиной плавающего потенциала катода-компенсатора и распределением потенциалов в пространстве взаимодействия пучков, создаваемых анодом Холловского двигателя (СПД) и плазменным источником электронов;

4) повысить управляемость и устойчивость разряда при низком уровне давления ( $P < 0,01 \text{ Па}$ ) в пространстве взаимодействия ионно-электронных пучков, создаваемых Холловским двигателем (СПД) и плазменным источником электронов;

5) повысить ресурс Холловского двигателя за счёт изменения местоположения и протяжённости зоны генерации и ускорения ионов.

Таким образом, с помощью предложенного плазменного источника электронов решена самосогласованная задача эффективной организации разряда требуемых параметров в различных газоразрядных устройствах при низком уровне расхода газа, малых энергозатратах и высоком КПД. Решение задачи привело к возникновению таких новых свойств, как получение дополнительной тяги и повышение ресурса при работе в составе электроракетных двигателей, а также возможности эффективного управления величиной плавающего потенциала катода-компенсатора и распределением потенциала в пространстве взаимодействия ионно-электронных пучков, создаваемых электроракетным двигателем и плазменным источником электронов.

### Литература

1. А. Т. Форрестер. Интенсивные ионные пучки. Москва. Мир. 1992. с. 191.
2. A.S.Roberts, Jr., James L. Cox, Jr. And Willard N. Bennett. Electron Beams from a Duoplasmatron using a Hollow Cathode Arc as Electron Source. J. Appl. Phys. V. 37, N8 (1966), p. 3231.
3. Ю.Е.Крейндель. Плазменные источники электронов. Москва. Атомиздат. 1977г. с.53,54.

### Формула изобретения

1. Плазменный источник электронов, выполняющий функции катода газоразрядного устройства, содержащий выполненные в виде тел вращения с центральными отверстиями внутренний и внешний полюсные наконечники с расположенным между ними источником магнитодвижущей силы и размещенные в герметичном корпусе дуговой диафрагмированный полый катод с устройством подачи газа, а также установленные между соосными выходными отверстиями катода и корпуса выполненные в виде тел вращения с центральными отверстиями промежуточный и главный аноды, отличающийся тем, что между выходными отверстиями катода и корпуса соосно с ними последовательно установлены промежуточный анод, внутренний полюсный наконечник, главный анод и внешний полюсный наконечник, главный анод выполнен из магнитослабого материала и расположен так, что через отверстие в нём протекает не менее 30% создаваемого в пространстве между полюсными наконечниками магнитного потока, а внутренний и внешний полюсные наконечники электрически соединены с катодом.

2. Источник электронов по п.1, отличающийся тем, что он снабжен кольцевым коллектором, соединенным с дополнительным устройством подачи газа, в коллекторе выполнены отверстия, обеспечивающие подачу газа в пространство между полюсными наконечниками.

3. Источник электронов по п.п.1 или 2, отличающийся тем, что минимальные диаметры отверстий в катоде  $d$ , промежуточном аноде  $D_1$ , внутреннем полюсном наконечнике  $D_2$  и внешнем полюсном наконечнике  $D_3$  связаны соотношением  $d : D_1 : D_2 : D_3 = 1 : 10k : 50k : 100k$ , где  $k = 1 \pm 0,5$ , а отношение величины зазора  $L_1$  между полюсными наконечниками к минимальному диаметру  $D_3$  отверстия во внешнем полюсном наконечнике равно  $L_1 : D_3 = 1 \pm 0,4$ .

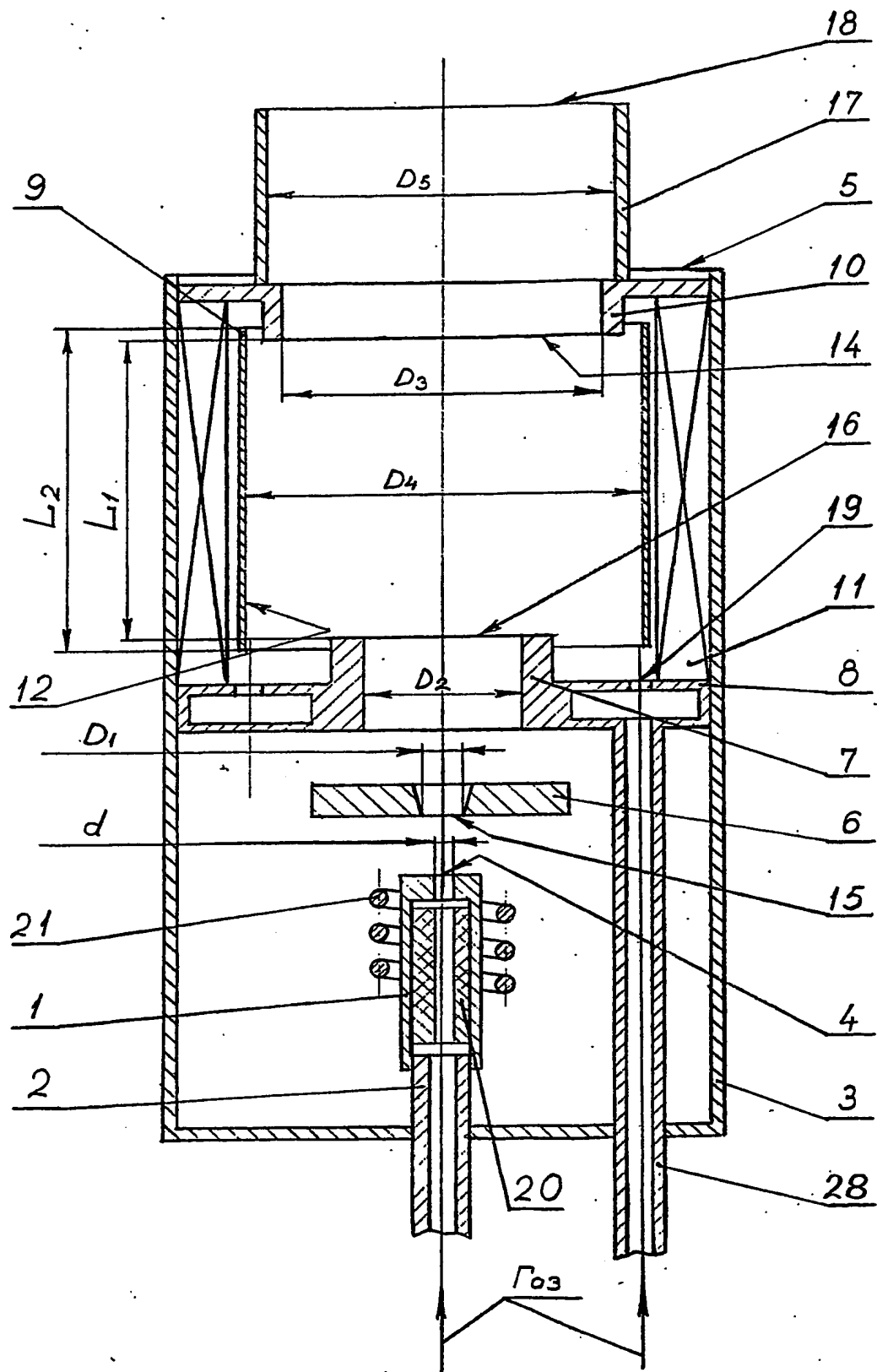
4. Источник электронов по п.п.1 или 2, отличающийся тем, что главный анод выполнен в виде полого цилиндра, внутренний диаметр  $D_4$  и длина  $L_2$  которого относятся к минимальному диаметру  $D_3$  отверстия во внешнем полюсном наконечнике как  $D_4 : D_3 = 1,3 \pm 0,3$ ,  $L_2 : D_3 = 1,3 \pm 0,3$ .

5. Источник электронов по п.п.1 или 2, отличающийся тем, что главный анод выполнен в виде полого усечённого конуса, меньшее основание которого обращено к внутреннему полюсному наконечнику, внутренний диаметр большего основания  $D_6$  и высота  $H$  конуса относятся к минимальному диаметру  $D_3$  отверстия во внешнем полюсном наконечнике как  $D_6 : D_3 = 1,3 \pm 0,3$ ,  $H : D_3 = 1,3 \pm 0,3$ , внутренний диаметр меньшего основания  $D_7$  относится к минимальному диаметру отверстия во внутреннем полюсном наконечнике  $D_2$  как  $D_7 : D_2 = 1,5 \pm 0,5$ .

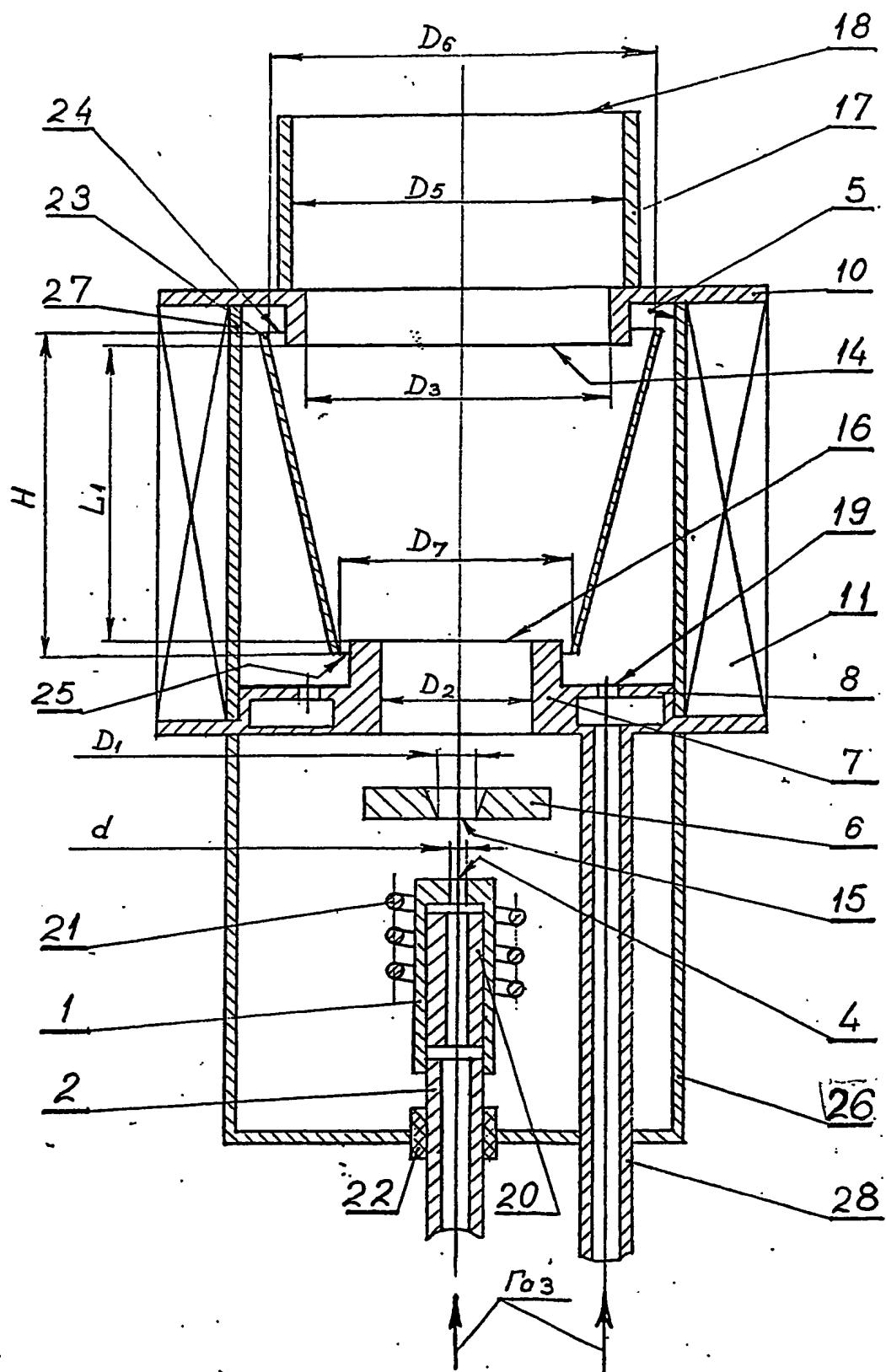
6. Источник электронов по п.п.1 или 2, отличающийся тем, что источник магнитодвижущей силы установлен за пределами герметичного корпуса, выполненного из магнитослабого материала.

7. Источник электронов по п.п.1 или 2, отличающийся тем, что источник магнитодвижущей силы выполнен из магнитотвёрдого материала в виде полого цилиндра и является составным элементом герметичного корпуса.

8. Источник электронов по п.п.1 или 2, отличающийся тем, что на внешней стороне внешнего полюсного наконечника установлен экспандер, минимальный внутренний диаметр  $D_5$  которого превышает минимальный диаметр  $D_3$  отверстия во внешнем полюсном наконечнике в 1 – 1,6 раза.



Фиг. 1



Фиг. 2



Н01J 17/02, 19/02, 21/00, 25/00,  
29/04, 49/12, 61/00;

## Плазменный источник электронов

### Реферат

Изобретение относится к области газоразрядных высоковакуумных ( $P < 0,1$  Па) устройств. Техническим результатом является повышение эффективности извлечения электронного пучка, а также газовой и энергетической эффективности. Плазменный источник электронов содержит выполненные в виде тел вращения с центральными отверстиями внутренний и внешний полюсные наконечники с расположенным между ними источником магнитодвижущей силы и размещенные в герметичном корпусе дуговой диафрагмированный полый катод с устройством подачи газа, а также установленные между соосными выходными отверстиями катода и корпуса соосно с ними выполненные в виде тел вращения с центральными отверстиями промежуточный и главный аноды. Между выходными отверстиями катода и корпуса последовательно установлены промежуточный анод, внутренний полюсный наконечник, кольцевой коллектор, главный анод и внешний полюсный наконечник. Главный анод выполнен из магнитослабого материала и расположен так, что через отверстие в нём протекает не менее 30% создаваемого в пространстве между полюсными наконечниками магнитного потока. Внутренний и внешний полюсные наконечники электрически соединены с катодом. В общем случае плазменный источник снабжен кольцевым коллектором, соединенным с дополнительным устройством подачи газа. В кольцевом коллекторе выполнены отверстия, обеспечивающие подачу газа в пространство между полюсными наконечниками. 7 з.п.ф-лы. 2 илл.